

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 737 923

(21) N° d'enregistrement national : 95 09834

(51) Int Cl<sup>8</sup> : G 01 R 31/36, 27/16

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 16.08.95.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 21.02.97 Bulletin 97/08.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule.*

(60) Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

(71) Demandeur(s) : CENTRE NATIONAL D'ETUDES  
SPATIALES — FR.

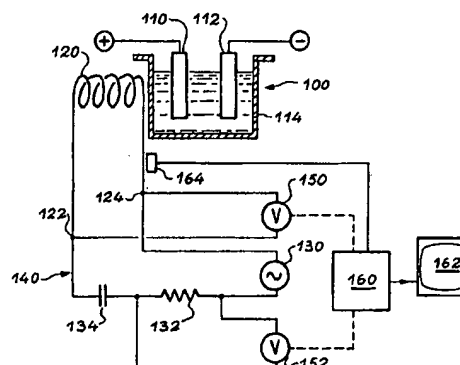
(72) Inventeur(s) : WILLMANN PATRICK, METROT  
ANDRE et MANCIER VALERIE.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire : BREVATOME.

(54) DISPOSITIF ET PROCÉDE DE MESURE EXTERNE, SANS CONTACT ELECTRIQUE, DE L'ETAT DE CHARGE  
D'UN ACCUMULATEUR ELECTRIQUE.

(57) Dispositif de mesure sans contact électrique de l'état  
de charge d'un accumulateur électrique (100), caractérisé  
en ce qu'il comporte un circuit de mesure (140) compre-  
nant au moins une bobine (120) apte à être disposée au  
voisinage de l'accumulateur, des moyens de mesure (130,  
160) de la valeur d'au moins une composante de l'impé-  
dance du circuit de mesure, et des moyens d'affichage  
(162) d'une valeur proportionnelle à ladite composante va-  
leur de la composante.



FR 2 737 923 - A1



BEST AVAILABLE COPY

DISPOSITIF ET PROCEDE DE MESURE EXTERNE, SANS CONTACT  
ELECTRIQUE, DE L'ETAT DE CHARGE D'UN ACCUMULATEUR  
ELECTRIQUE

5 DESCRIPTION

Domaine technique

La présente invention se rapporte à un dispositif et un procédé de mesure, sans contact électrique, de l'état de charge d'un accumulateur  
10 électrique.

Elle concerne de façon générale la mesure de l'état de charge de tous les accumulateurs du type comportant au moins une électrode qui présente une conductivité variable en fonction de l'état de charge.

15 Cette catégorie d'accumulateurs comporte en particulier les accumulateurs avec une électrode positive d'hydroxyde de nickel, du type nickel-cadmium (Ni-Cd), nickel-hydrogène (Ni-H<sub>2</sub>) ou nickel-métal hydrure (Ni-MH).

20 L'invention trouve des applications notamment dans la mesure de charge de batteries d'accumulateurs équipant des véhicules automobiles électriques, des accumulateurs équipant des dispositifs dans le domaine spatial et dans la maintenance des batteries  
25 d'accumulateurs d'équipements industriels ou domestiques.

Etat de la technique antérieure

La détermination de l'état de charge des  
30 accumulateurs est un problème important mais encore mal résolu pour un bon nombre de batteries. On connaît plusieurs méthodes pour déterminer cet état de charge mais ces méthodes sont soit très complexes soit approximatives.

Une première méthode consiste à déduire l'état de charge d'un accumulateur de la différence de potentiel mesurée à ses bornes. Cette méthode, simple à mettre en oeuvre, ne permet cependant pas de déterminer l'état de charge de façon suffisamment précise pour les applications envisagées.

A titre d'illustration, la figure 1 indique la tension U de l'électrode positive d'un accumulateur repérée par rapport à une électrode dite de référence à l'oxyde mercurieux (EOM), au cours d'une opération de charge et de décharge. Sur le graphe de la figure 1, la tension est repérée en ordonnée et exprimée en volts (V). Une opération comportant une succession de charges et de décharges d'un accumulateur est désignée dans la suite du texte par le terme "cyclage". La courbe de la figure 1 correspond à un cyclage en C/4, c'est-à-dire avec un courant égal au quart de la capacité de charge (en Ah) de l'accumulateur. Le cyclage de la figure 1 est effectué à 25°C sur un accumulateur de type NiCd.

La courbe comporte une phase de charge repérée avec la référence 10 et une phase de décharge repérée avec la référence 12.

On constate qu'après un temps très court après le début de la charge la tension U atteint une tension dite de charge qui ne varie quasiment plus au cours du temps. La plage de la courbe où la tension de charge est quasiment invariable porte la référence 14 sur la figure 1. De même, après un temps très court après le début de la décharge, la tension U atteint une tension dite "d'utilisation" qui varie également très peu au cours du temps jusqu'au moment où l'accumulateur est déchargé. La référence 16 est associée à une plage de la courbe correspondant à cette tension.

Ainsi, comme les tensions de charge et de décharge varient très faiblement ( $<0,1V$ ) pendant la

majeure partie du temps de charge et de décharge, la mesure de cette tension n'indique que de façon très approximative l'état de charge de l'accumulateur. De plus, cette tension dépend beaucoup du régime de charge ou de décharge.

Une autre méthode connue pour déterminer l'état de charge d'un accumulateur consiste à mesurer les variations de température au voisinage des électrodes. Cette méthode est tributaire de la température ambiante et les mesures sont difficiles à effectuer en particulier dans certaines utilisations des accumulateurs où les régimes de charge et de décharge sont variables, ce qui entraîne des variations de température parasites.

Une autre méthode encore pour connaître l'état de charge d'une batterie consiste à comptabiliser la quantité de courant chargée ou déchargée de la batterie. Cette méthode est relativement fiable mais complexe à mettre en oeuvre. Elle comporte également des imprécisions dues aux variations du rendement de charge, notamment lorsque l'accumulateur atteint sa pleine charge. De plus, l'application de cette méthode suppose la connaissance initiale de l'état de charge de l'accumulateur.

Un but de la présente invention est de proposer un dispositif et une méthode de mesure de l'état de charge d'un accumulateur ne présentant pas les limitations et difficultés mentionnées ci-dessus.

Un autre but de la présente invention est de proposer un dispositif et une méthode de mesure externe de l'état de charge d'un accumulateur qui soient simples et ne nécessitent pas le débranchement de l'accumulateur de son circuit d'utilisation pour effectuer la mesure. Un autre but encore de la présente invention est de proposer un dispositif de mesure de

l'état de charge d'un accumulateur qui soit précis et fiable, notamment pour des applications dans une automobile électrique.

5 Exposé de l'invention

Pour atteindre les buts mentionnés, l'invention propose plus précisément un dispositif de mesure sans contact électrique de l'état de charge d'un accumulateur électrique du type comportant au moins une  
10 électrode présentant une conductivité variable en fonction de l'état de charge, caractérisé en ce qu'il comporte un circuit de mesure comprenant au moins une bobine apte à être disposée au voisinage de l'accumulateur, des moyens de mesure de la valeur d'au  
15 moins une composante de l'impédance complexe du circuit de mesure, et des moyens d'affichage d'une valeur proportionnelle à ladite composante.

Le dispositif de l'invention fonctionne sur le principe de la mesure des courants de Foucault qui  
20 apparaissent dans les électrodes de l'accumulateur sous l'influence du champ électromagnétique extérieur créé par la bobine excitatrice. L'intensité de ces courants est fonction de la résistance desdites électrodes et donc de leur état de charge.

25 Ces courants de Foucault peuvent être détectés par les variations de l'impédance complexe du circuit contenant la bobine excitatrice, qu'ils entraînent.

Le circuit de mesure peut être constitué simplement de la bobine dont on mesure l'impédance  
30 complexe. Cependant, selon une réalisation préférée de l'invention, celui-ci peut comporter un circuit du type RLC, c'est-à-dire un circuit avec une self-inductance formée notamment par la bobine, une capacité électrique et une résistance électrique.

La bobine se présente sous la forme d'un enroulement d'une ou de plusieurs spires. Elle est disposée au voisinage de l'accumulateur, c'est-à-dire suffisamment proche de l'accumulateur pour que les  
5 lignes de champ d'un champ magnétique produit par cette bobine "voient" les électrodes de l'accumulateur et en particulier la (où les) électrode(s) dont la conductivité varie en fonction de l'état de charge. Pour que les lignes de champ "voient" les électrodes,  
10 il convient que le boîtier de l'accumulateur ne forme pas un écran total pour ces lignes de champ. Lorsque le boîtier de l'accumulateur est en un matériau isolant électrique, par exemple en matière plastique, la bobine peut être placée simplement contre le boîtier. Lorsque  
15 le boîtier est en métal, ce qui est peu fréquent, on peut prévoir un emplacement spécialement aménagé pour la bobine où les lignes de champ "voient" les électrodes.

Plusieurs dispositions de la bobine par rapport  
20 à l'accumulateur sont possibles. Il est en particulier possible de disposer la bobine contre une paroi du boîtier de l'accumulateur ou de la batterie d'accumulateurs. Les spires de la bobine peuvent également être disposées autour du boîtier de  
25 l'accumulateur. Il est possible aussi d'équiper la bobine d'un noyau magnétique, en ferrite par exemple, et de disposer l'accumulateur dans un entrefer du noyau.

Les moyens de mesure sont prévus pour  
30 déterminer au moins une composante de l'impédance complexe du circuit de mesure. On entend par composante de l'impédance complexe la composante réelle et/ou la composante imaginaire ou encore la phase et/ou le module de ladite impédance. Dans une réalisation  
35 particulière du dispositif de l'invention, les moyens

de mesure d'une composante de l'impédance comportent un générateur BF relié au circuit de mesure pour y appliquer une excitation périodique, et un analyseur de réponse en fréquence, également relié au circuit de mesure, et apte à délivrer la valeur de ladite composante de l'impédance du circuit.

Contrairement à la tension mesurée aux bornes de l'accumulateur, l'impédance complexe de la bobine ou du circuit de mesure présente des variations quasi-linéaires au cours des phases de charge et de décharge de l'accumulateur et dépend peu du régime de charge ou de décharge, ce qui autorise une bonne précision des mesures.

Conformément à une réalisation préférée de l'invention, l'excitation périodique du générateur BF est accordée sur une fréquence voisine de la fréquence de résonance du circuit de mesure. Dans ces conditions, la variation relative de la composante imaginaire de l'impédance complexe est très importante en fonction de l'état de charge. En effet, l'influence des modifications de la conductivité des électrodes de l'accumulateur sur l'impédance complexe de la bobine peut être rendue très importante dans un circuit approprié adapté aux caractéristiques de l'accumulateur.

L'invention concerne également un procédé de mesure de l'état de charge d'un accumulateur conformément auquel on mesure la valeur d'au moins une composante (partie réelle, partie imaginaire, phase, module) de l'impédance complexe du circuit électrique de mesure comportant la bobine, et on multiplie cette valeur par un coefficient de conversion entre la composante de l'impédance et la charge de l'accumulateur.

En effet, les composantes de l'impédance complexe sont des fonctions quasi linéaires de la conductivité des électrodes qui est elle-même fonction de l'état de charge de la batterie.

- 5           La valeur de l'impédance peut être affichée par exemple directement sur un afficheur gradué ou étalonné par rapport à la charge d'un accumulateur donné. Un dispositif informatique simple pourrait, si nécessaire, effectuer les corrections voulues en fonction de la
- 10           température et des régimes de charge et décharge.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, donnée à titre illustratif et non limitatif, en référence aux figures annexées.

15

#### Brève description des figures

- la figure 1, déjà décrite, est un graphique qui indique en fonction du temps, (reporté en abscisse), la tension U de l'électrode positive repérée
- 20           par rapport à une électrode de référence à l'oxyde mercurieux (EOM), (reportée en ordonnée), lors d'un cyclage en C/4,
- la figure 2 est un schéma électrique simplifié du dispositif de l'invention,
- 25           - la figure 3 est un schéma d'un dispositif expérimental conforme à la présente invention,
- la figure 4A est un graphique indiquant en fonction du temps (en abscisse) la tension U (en ordonnée) de l'électrode positive de l'accumulateur du
- 30           dispositif de la figure 3 lors d'un cyclage en C/8,
- la figure 4B est un graphique indiquant en fonction du temps (en abscisse) la composante réelle de l'impédance du circuit de mesure (en ordonnée) du dispositif de la figure 3, lors d'un cyclage en C/8,



- la figure 4C est un graphique indiquant en fonction du temps (en abscisse) la composante imaginaire de l'impédance du circuit de mesure (en ordonnée) du dispositif de la figure 3, lors d'un cyclage en C/8,

- la figure 4D est un graphique indiquant en fonction du temps (en abscisse) le module  $|Z|$  de l'impédance du circuit de mesure (en ordonnée) du dispositif de la figure 3, lors d'un cyclage en C/8,

- la figure 4E est un graphique indiquant en fonction du temps (en abscisse) la phase  $\phi$  de l'impédance du circuit de mesure (en ordonnée) du dispositif de la figure 3, lors d'un cyclage en C/8.

#### Description détaillée de modes de mise en oeuvre de l'invention

Sur la figure 2, un accumulateur 100 est très schématiquement représenté avec une électrode positive 110, par exemple d'hydroxyde de nickel ( $\text{Ni(OH)}_2$ ), et une électrode négative 112 de cadmium (Cd).

Une bobine 120 est disposée au voisinage de l'accumulateur 100, par exemple sur un côté du boîtier 114 de l'accumulateur. Les bornes 122 et 124 de la bobine sont reliées à un générateur de basse fréquence 130. Une résistance 132 et un condensateur 134 sont branchés en série entre le générateur 130 et la borne 122 de la bobine, pour former avec celle-ci un circuit de mesure 140.

Des voltmètres 150 et 152 sont respectivement connectés aux bornes 122, 124 de la bobine 120 et aux bornes de la résistance 132. La mesure de la tension aux bornes de la résistance 132 permet de déterminer le courant qui la traverse et qui traverse donc l'ensemble du circuit 140. En divisant la tension aux bornes de la bobine par le courant qui la traverse on détermine une

impédance complexe de la forme  $Z = Z_r + jZ_i$  où  $Z_r$  et  $Z_i$  sont les composantes réelle et imaginaire et où  $j$  est tel que  $j^2 = -1$ . L'impédance complexe peut également être exprimée sous la forme  $Z = |Z|e^{j\varphi}$  où  $|Z|$  est le module et  $\varphi$  la phase. Cette opération peut être effectuée notamment par une unité de calcul 160 spécialement prévue à cet effet, à laquelle sont transmises les valeurs des tensions mesurées par les voltmètres 150 et 152. Des moyens de mémoire et un système d'affichage 162 peuvent être connectés à l'unité de calcul pour afficher au moins l'une des composantes de l'impédance ou une valeur fonction de cette composante directement représentative de l'état de charge de la batterie.

Le générateur BF 130 délivre un signal périodique, de préférence sinusoïdal, dont la fréquence est voisine de la fréquence de résonance propre du circuit de mesure 140.

Selon un perfectionnement de l'invention, le dispositif peut en outre être équipé d'une sonde thermique 164 disposée par exemple sur la bobine 120 ou à proximité de celle-ci sur la paroi de l'accumulateur, et reliée électriquement à l'unité de calcul 160 pour corriger la valeur affichée représentative de l'état de charge, en fonction d'éventuels changements de température susceptibles de modifier les mesures d'impédance.

La figure 3 montre un montage expérimental destiné à illustrer le fonctionnement du dispositif de l'invention.

Sur cette figure des éléments ou parties identiques ou similaires à ceux de la figure 2 portent des références identiques auxquelles on a ajouté 100.

Le dispositif expérimental comporte un accumulateur 200 équipé de trois électrodes 210, 212 et 214 qui baignent dans un électrolyte constitué par une

solution sept (7) fois molaire de potasse dans de l'eau.

L'électrode 210, dite électrode de travail, est un feutre de nickel recouvert d'hydroxyde de nickel.

5 L'électrode 212, dite contre-électrode, est une électrode de cadmium. La troisième électrode 214 est indépendante du fonctionnement de l'accumulateur, il s'agit d'une électrode de référence à l'oxyde mercurieux utilisée pour la mesure précise de la tension à la  
10 borne de l'électrode 210.

Les électrodes 210, 212 et 214 sont respectivement reliées à un dispositif informatisé 216 permettant la réalisation des cycles de charge/décharge ainsi que l'enregistrement à titre expérimental du  
15 courant fourni par l'accumulateur et la tension à ses bornes.

La bobine 220 du circuit de mesure 240 est équipée d'un noyau 221 destiné à canaliser les lignes de champ.

20 Dans la réalisation expérimentale décrite, le boîtier de l'accumulateur 200 comporte en sa partie inférieure un appendice 201 qui reçoit l'électrode positive de travail 210, et dont la forme est spécialement adaptée pour être insérée dans un entrefer  
25 223 du noyau 221.

Le circuit de mesure 240 qui comporte, outre la bobine 220, une résistance 232 et un condensateur 234, est relié à un analyseur de fréquence 260 du type A.R.F. Solartron 1253. Cet appareil inclut un  
30 générateur BF dont les bornes 261, 262 sont respectivement reliés à une borne de la résistance 232 et à une borne de la bobine 220. Une tension prélevée aux bornes de la résistance 232 est dirigée vers des bornes 263, 264 du générateur. Cette tension est

utilisée pour déterminer le courant et les variations du courant circulant dans le circuit de mesure 240.

Enfin, une tension prélevée aux bornes de l'ensemble bobine 220-condensateur 234 est dirigée vers des bornes 265, 266 de l'analyseur 260. L'analyseur détermine et enregistre les composantes imaginaire et réelle de l'impédance du circuit de mesure en divisant la tension présente aux bornes 265, 266 par le courant circulant dans le circuit de mesure.

L'analyseur peut également déterminer et enregistrer le module  $|Z|$  et la phase  $\phi$  de l'impédance complexe.

Les figures 4A, 4B, 4C, 4D, 4E indiquent respectivement la différence de potentiel relevée entre les bornes de l'électrode 210 et de l'électrode de référence 214 et les valeurs des parties réelle et imaginaire, du module et de la phase de l'impédance complexe du circuit de mesure au cours d'un cyclage en C/8 effectué avec l'accumulateur 200.

Les résultats de mesure correspondant aux courbes des figures 4A à 4E sont obtenus avec un dispositif semblable à celui de la figure 3, mais avec une bobine 220 dépourvue de noyau, et effectués à 25°C. Les valeurs des composants est indiquée ci-après.

La bobine 220, sans noyau, présente une self-induction de 0,247 H et une résistance propre de 350Ω, la résistance 232 a une valeur de 100Ω, le condensateur 234 a une capacité de 3,5 μF et la fréquence des signaux fournis par le générateur BF est de 1000 Hz.

Sur la figure 4A les tensions sont exprimées en volt, sur les figures 4B, 4C et 4D les impédances sont exprimées en Ohms, et sur la figure 4E la phase est exprimée en degrés.

Sur les figures des régions référencées 300, 302 correspondent à des phases de charge de

l'accumulateur et la région référencée 304 correspond à une décharge.

On constate que tandis que la tension est quasiment constante, notamment pendant les périodes de charge 300, 302, les valeurs des composantes réelle et imaginaire de l'impédance complexe, de même que la phase et le module, sont des fonctions quasi-linéaires du temps. Les courbes correspondant aux composantes de l'impédance ont des pentes changeant de signe en fonction des phases de charge et de décharge. On constate aussi que la variation relative de la composante imaginaire (figure 4C) de l'impédance est plus forte que celle de la partie réelle (figure 4B).

Ainsi, il est possible par exemple d'afficher sur un afficheur approprié, par exemple un écran 218 du dispositif de la figure 3, la valeur de la composante imaginaire, ou une valeur proportionnelle permettant d'indiquer à un utilisateur directement la charge en ampère-heure de l'accumulateur.

20

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure sans contact électrique de l'état de charge d'un accumulateur électrique (100, 200) du type comportant au moins une électrode (110, 210) présentant une conductivité variable en fonction de l'état de charge, caractérisé en ce qu'il comporte un circuit de mesure (140, 240) comprenant au moins une bobine (120, 220) apte à être disposée au voisinage de l'accumulateur, des moyens de mesure (130, 160, 260) de la valeur d'au moins une composante de l'impédance complexe du circuit de mesure, et des moyens d'affichage (162) d'une valeur proportionnelle à ladite composante valeur de la composante.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le circuit de mesure est un circuit de type R, L, C.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les moyens de mesure d'une composante de l'impédance complexe comportent un générateur BF (130) relié au circuit de mesure (140) pour y appliquer une excitation périodique, et un analyseur de réponse en fréquence (160, 260), également relié au circuit de mesure, et apte à délivrer la valeur de ladite composante de l'impédance complexe du circuit.

4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'excitation périodique a une fréquence voisine de la fréquence de résonance du circuit de mesure (140, 240).

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les moyens de mesure (160, 260) sont aptes à déterminer une composante imaginaire de l'impédance complexe du circuit de mesure (140, 240).

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les moyens de mesure (160, 260) sont aptes à déterminer une composante réelle de l'impédance complexe du circuit de mesure.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les moyens de mesure (160, 260) sont aptes à déterminer le module de l'impédance complexe.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les moyens de mesure (160, 260) sont aptes à déterminer la phase de l'impédance complexe.

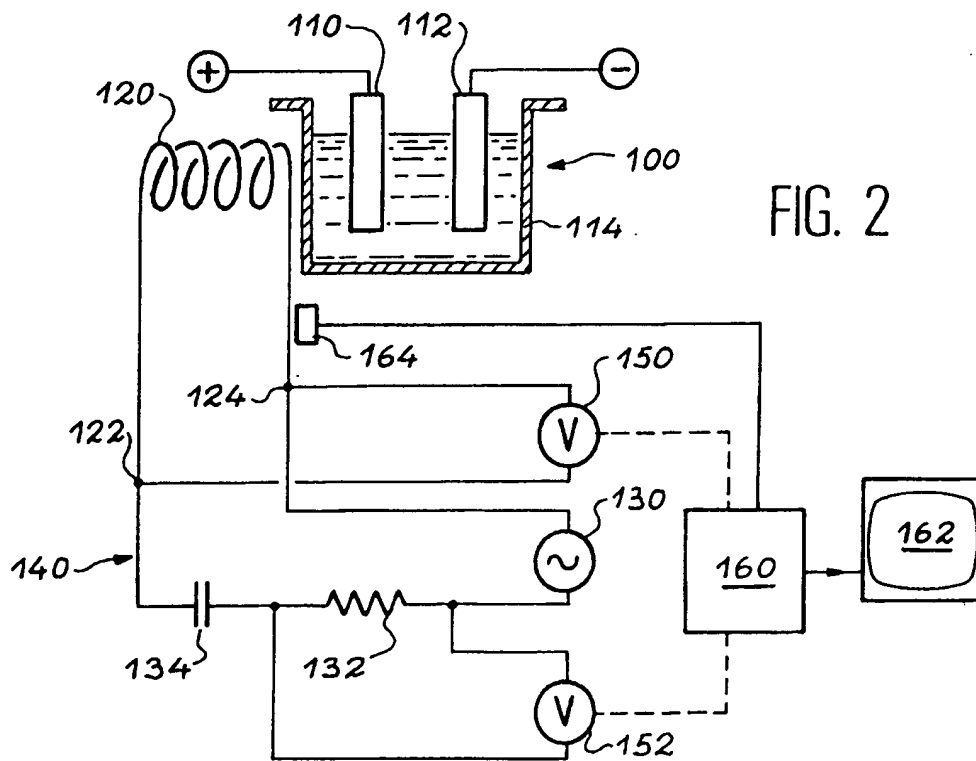
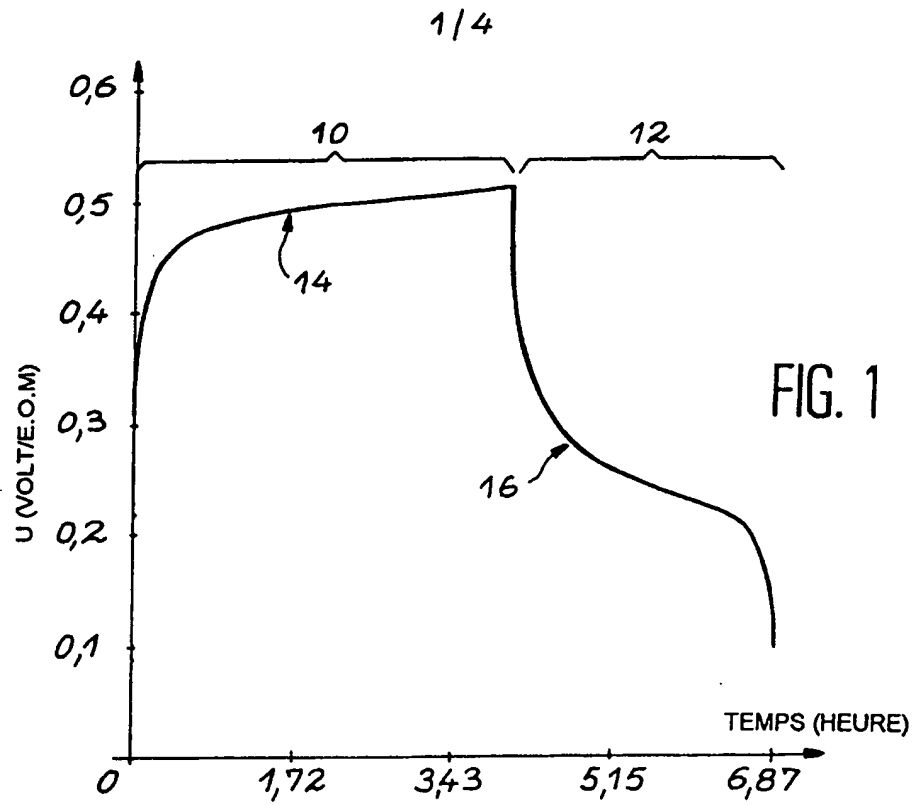
9. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la bobine (220) est équipée d'un noyau magnétique (221).

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le noyau magnétique comporte un entrefer (223) dans lequel est disposé l'accumulateur.

11. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la bobine comporte des spires entourant l'accumulateur.

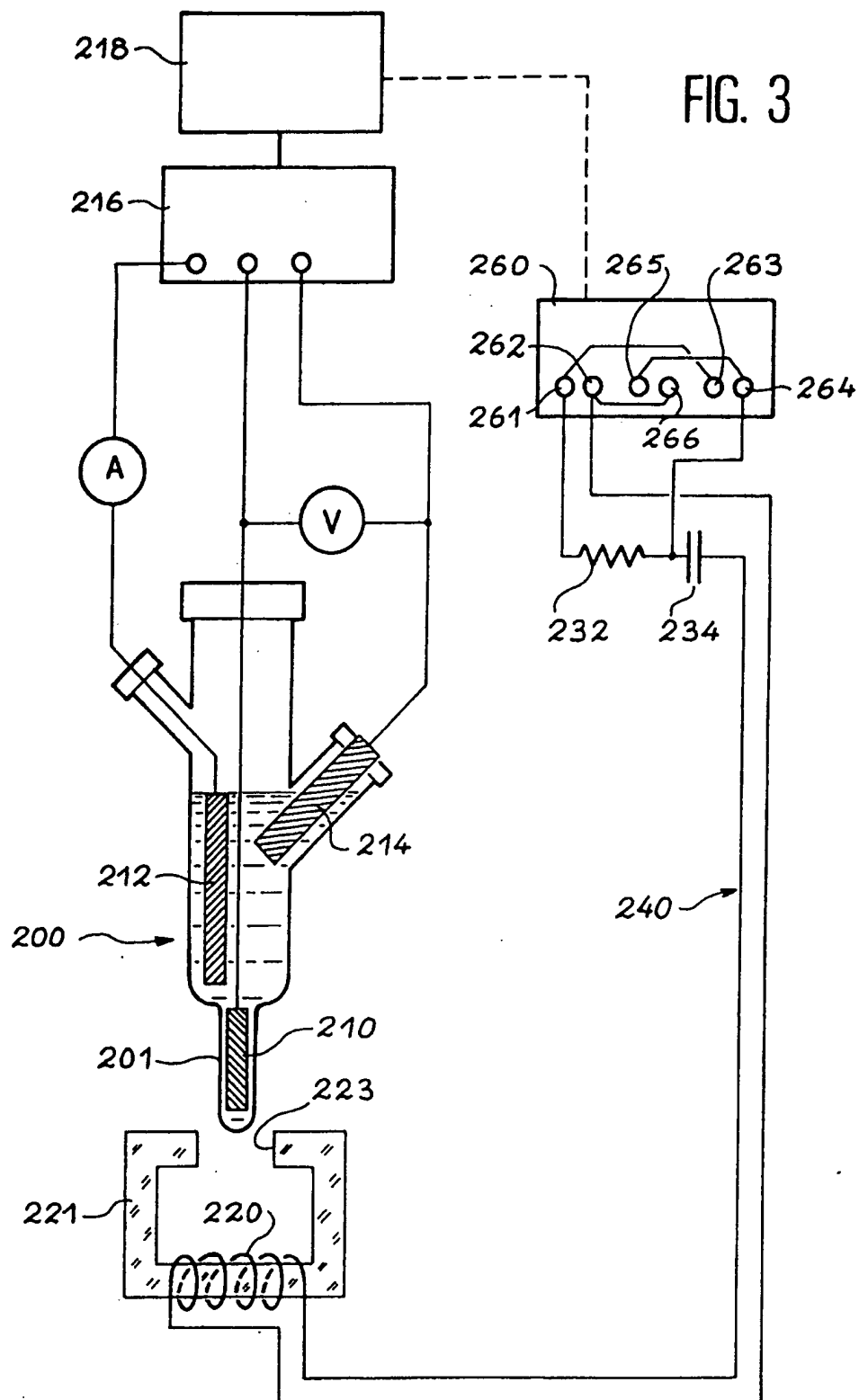
12. Procédé de mesure sans contact électrique de l'état de charge d'un accumulateur électrique (100, 200) du type comportant au moins une électrode présentant une conductivité variable en fonction de l'état de charge, caractérisé en ce qu'on dispose à proximité de l'accumulateur une bobine (120, 220), on mesure la valeur d'au moins une composante de l'impédance complexe d'un circuit électrique de mesure (140, 240) comportant la bobine et on multiplie la valeur par un coefficient de conversion entre la composante de l'impédance et la charge de l'accumulateur.

35



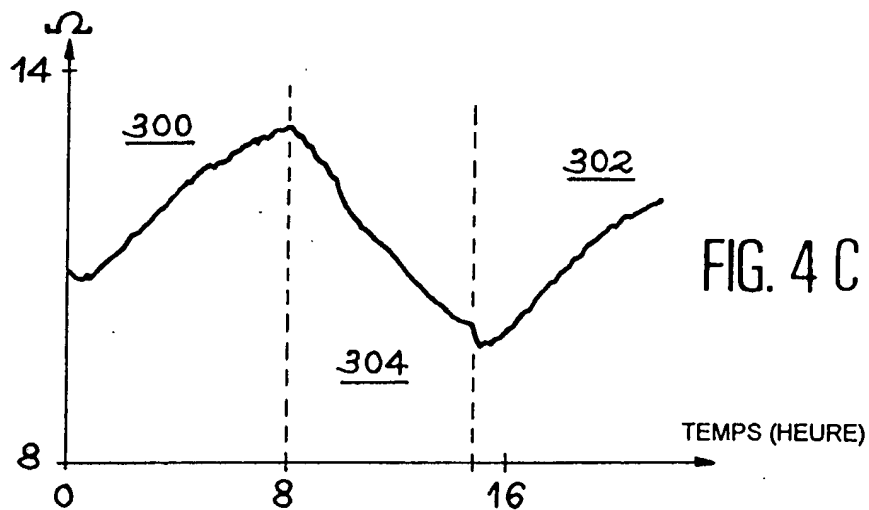
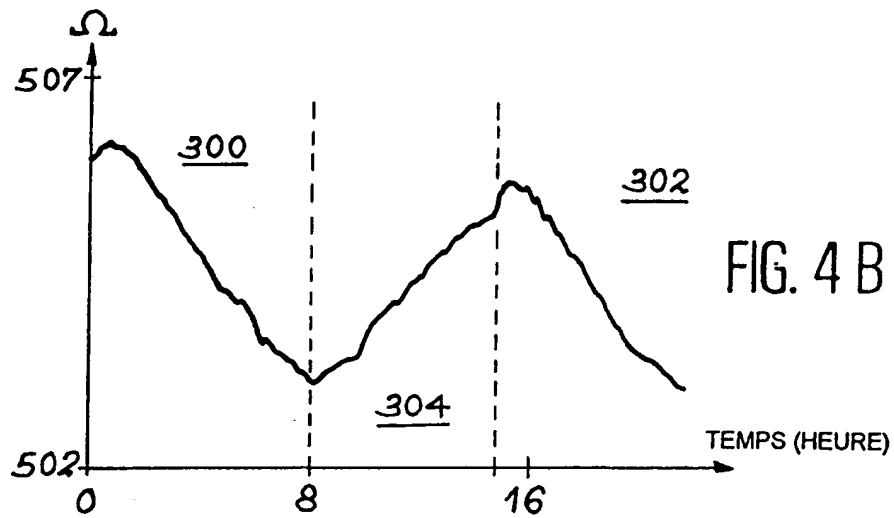
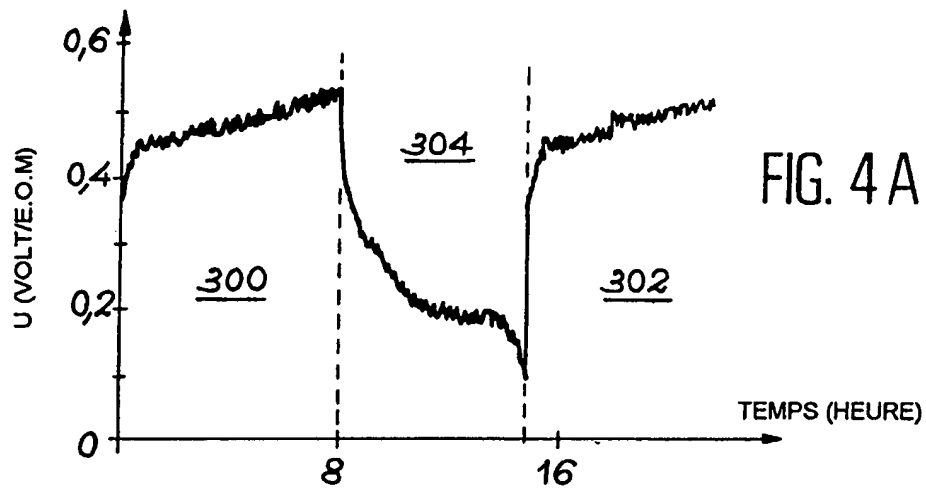


2/4

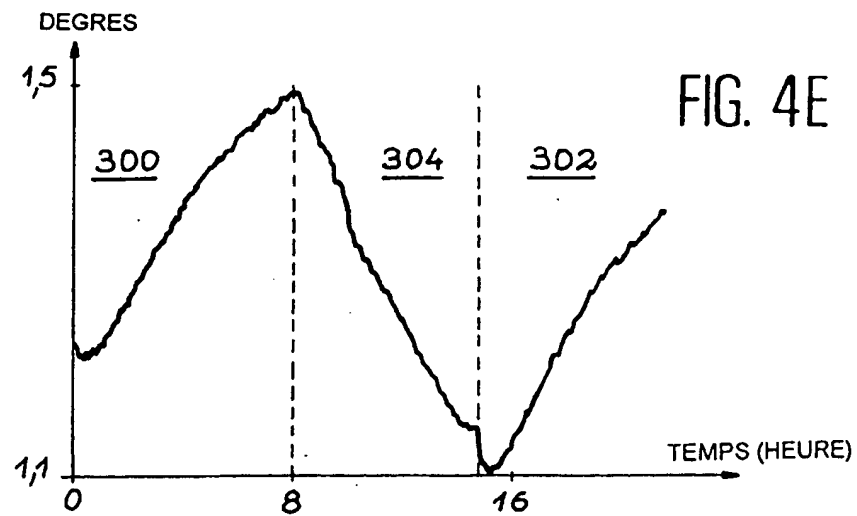
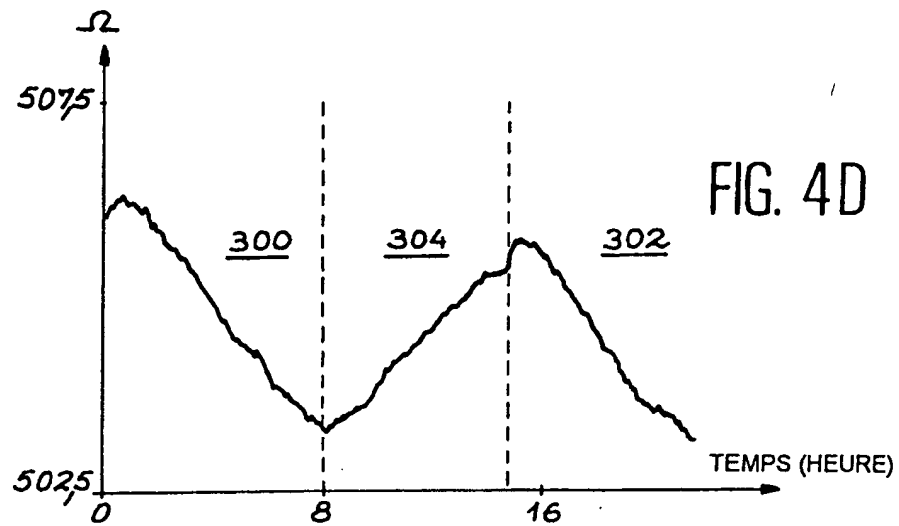


BEST AVAILABLE COPY

3/4



4/4



BEST AVAILABLE COPY

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE**  
établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

FA 517886  
FR 9509834

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	EP-A-0 388 099 (YUASA BATTERY (UK) LIMITED) * colonne 5; figure 7 * -----	1,2,4
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		G01R
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
3 Mai 1996		Hoornaert, W
<p><b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'un moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		